

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-4901

(P2003-4901A)

(43) 公開日 平成15年1月8日(2003.1.8)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ページ(参考)	
G 0 2 B	1/02	G 0 2 B	1/02	2 H 0 4 7
	5/18		5/18	2 H 0 4 9
	6/12	G 0 2 F	1/01	F 2 H 0 7 9
	6/13	G 0 2 B	6/12	Z
G 0 2 F	1/01			N
審査請求 未請求 請求項の数 8 書面 (全 7 頁)				最終頁に続く

審査請求 未請求 請求項の数8 書面(全7頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-230577(P2001-230577)

(22) 出願日 平成13年6月25日(2001.6.25)

(71) 出願人 501018634

財団法人上田顕雅科学振興会  
長野県上田市常田3丁目8番37号

(71) 出願人 509121296

渡辺 雅見  
長野県上田市常田3丁目15番1号 信州大  
学繊維学部機能機械学科内

(72) 発明者 渡辺 雅見

長野県上田市常田3丁目15番1号 信州大  
学繊維学部機能機械学科内

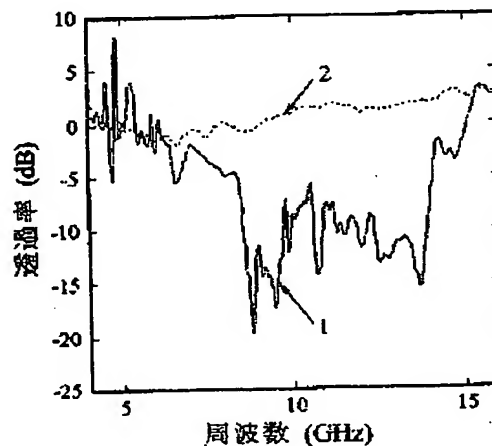
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 繊維形状物質を配列したフォトニック結晶及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高強度のフォトニック結晶を容易に、大量に、かつ安価に製造する。

【解決手段】 フォトニック結晶を製造するに際して、誘電率の低い繊維形状物質を配列し、その隙間を誘電率の高い物質で埋める。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 マトリックス中に、該マトリックスを構成する物質と異なる誘電率を有する繊維状物質が多数、配列して存在することを特徴とするフォトニック結晶。

【請求項2】 マトリックスと異なる誘電率の繊維形状物質を、1次元的及び／又は2次元的及び／又は3次元的に直線状に配列、あるいは2次元及び／又は3次元に編織配列することによって、誘電率の周期構造を有するフォトニック結晶。

【請求項3】 誘電率の低い繊維形状物質からなる配列体の隙間を、該繊維形状物質に比較して高い誘電率を有する物質で埋めることによって誘電率の周期構造を実現した請求項1又は2記載のフォトニック結晶。

【請求項4】 誘電率の低い繊維形状物質からなる配列体の隙間を、該繊維形状物質に比較して4倍以上30倍以下の誘電率を有する物質で埋めることによって誘電率の周期構造を実現した請求項1乃至3記載のフォトニック結晶。

【請求項5】 誘電率の低い繊維形状物質がコットン糸であり、誘電率の高い物質がチタニア、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SrTiO}_3$ のような誘電率の高いセラミックス及びそれらの混合体を混合した樹脂である請求項1乃至4記載のフォトニック結晶。

【請求項6】 誘電率の低い繊維形状物質を配列し、その隙間を誘電率の高い物質で埋めるフォトニック結晶の製造方法。

【請求項7】 誘電率がマトリックスとは異なる繊維形状物質を、1次元的及び／又は2次元的及び／又は3次元的に直線状に配列、又は2次元及び／又は3次元に編織し、その隙間を誘電率の高い物質で埋めるフォトニック結晶の製造方法。

【請求項8】 誘電率の低い繊維形状物質がコットン糸であり、誘電率の高い物質がチタニア、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SrTiO}_3$ のような誘電率の高いセラミックス及びそれらの混合体を混合した樹脂である請求項6乃至7記載のフォトニック結晶の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光（電磁波）を制御できる機能材料であるフォトニック結晶及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 今まで、光は大変扱いづらいものと考えられてきた。光通信、光メモリ、ディスプレイなどで用いられる発光ダイオードは、電子が伝導体から価電子帯へ遷移するときに、そのエネルギー差に対応する周波数の光を発生する。ここで、電子のエネルギーにばらつきがあるため、光の周波数スペクトルは一般に広がっている。また、半導体レーザは光を共振器によって帰還増幅するため、特定の周波数の光を高効率で取り出すことが

できるが、レーザ発振を起こすまでには、しきい値という余計な励起エネルギーが消費される。このように、半導体発光素子には非効率な光の損失がみられる。

【0003】 最近、フォトニック結晶という新しい光材料が注目を集めている。このフォトニック結晶は誘電率の異なる物質を用いて3次元的な周期構造を作ることにより、この構造と同程度の波長をもつ電磁波に対して、特定の方向からは完全に反射され、その方向からずれるに従い透過するようにした結晶のことをいう。一般の結晶材料が電子波に対して分散特性をもつことと対比して、フォトニックバンドを有する結晶という意味で名づけられた。

【0004】 ここで、フォトニックバンドとは、フォトニック結晶において入射する光に対する特別な伝播特性（分散関係）をいう。結晶の方位に依存して、入射光の波長の関数として、その透過特性やみかけの誘電率により表わされる。誘電体の周期構造の周期が入射光の波長と同程度になると、ある結晶方位において特定の波長領域の光が伝播できないということがおこる。この波長領域を光のエネルギー禁制帯（フォトニックバンドギャップ）という。

【0005】 固体結晶で原子がある周期で規則正しく配列しているとき、電子に対するバンドギャップが現れるのは、電子を波と考えたときの波長がちょうど原子間隔程度の大きさであるからである。波の波長 $\lambda$ と周期構造の周期長 $L$ が同じ程度である場合、波はブラッグ反射により反射されるが、反射により逆方向に進んだ波はまた反射を受け、結局、前にも後ろにも進めないことになる。したがって、3次元的な周期構造である場合は前後、左右、上下、即ちX、Y、Z軸いずれの方向にも波は進めないことになる。その結果がバンドギャップをもたらしていると解釈される。

【0006】 これを光に応用したものがフォトニックバンドギャップであり、この結晶がフォトニック結晶である。これに応用すれば、発光ダイオードは無駄な発光がなくなり、必要な発光の効率を高めることができる。また、半導体レーザに関しては、どんな励起レベルに対しても、しきい値とは無関係にレーザが高効率で発生することになる。さらに、入射光の波長がほんのわずかでもそれぞれ異なるものをフォトニック結晶に通すと、屈折率が大きく変わるという性質を利用すれば、同一の光ファイバ上に多重した波長の異なる信号を簡単に取り出せる、という光通信の波長分割多重装置が期待できる。

【0007】 フォトニック結晶の応用例として光回路、マイクロ波通信などがあげられる。フォトニック結晶中に欠陥連鎖を導入すると、ある波長帯の光はフォトニックバンドギャップによる反射を繰り返しながら欠陥連鎖を伝搬していく。またフォトニックバンドギャップは面内の任意方向の光伝搬を禁止するので、欠陥を任意に折り曲げて光が伝搬し続ける。したがって、急激に光を

曲げたりすることも可能となるため、従来の光回路より、 $1/1000$ も小さい面積の光回路が製造できる。

【0008】また、マイクロ波通信などの受信部にフォトニック結晶を利用すれば、ほかの電磁波をキャッチせずに、目的の周波数だけを正確に受信することが可能となる。このようにフォトニック結晶は光や電磁波の制御に関するものに応用が期待できる。

【0009】現在、フォトニック結晶の製造は主に2つの方法で行われている。1つはYablono v i t c h が提案した方法で、その概要を図2に示す。即ち、誘電率の高い物質の面法線方向から $35.26^\circ$ の方向で、互いに $120^\circ$ の角度をなす方向にドリルなどで穴をあけたものである。これによりダイヤモンド構造の格子ができ、フォトニックバンドギャップが形成される。

【0010】もう1つは図3に示したウェーハ融着を利用する方法である。これはレーザービーム回折パターンを観察技術などを用いて、ウェーハを融着によって積載していくものである。しかし、この方法で作製したフォトニック結晶におけるフォトニックバンドギャップは完全なものではなく、またこの方法で作製するには複雑な工程を踏まなくてはならない。

【0011】上述のように、優れた性能が見込まれる3次元フォトニック結晶ではあるが、未だ完全なフォトニックバンドギャップをもったものは実現していない。また、現在行われているフォトニック結晶の作製方法は高価な装置を用いており、また、生産速度も非常に遅い。したがって、得られるフォトニック結晶は高価なものになり、大量生産にも向いていない。また、大型のフォトニック結晶を製造することは不可能である。加えて、空気を結晶の誘電媒質の1つとして用いているため、強度が低く、たとえば、アンテナなどの通信部に利用するには適していない。

#### 【0012】

【発明が解決しようとする課題】本発明はかかる事情に鑑みなされたものであって、上記欠点を解決し、強度の高いフォトニック結晶を提供することを目的とする。さらに、強度の高いフォトニック結晶を安価な素材を用い、安価な装置で、簡便に効率高く、自由なサイズで、大量生産が可能な製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本発明者は鋭意検討を重ねた結果、繊維工業界において2次元あるいは3次元周期構造の生産物を、安価にかつ大量に生産している点に着目し、本発明の繊維形状物質を利用したフォトニック結晶により、安価にかつ大量に強度の高いフォトニック結晶をサイズにとらわれることなく製造できることを見出した。

【0014】即ち、誘電率がマトリックスとは異なる繊維形状物質を、1次元的及び／又は2次元的及び／又は

3次元的に直線状に配列する、あるいは2次元及び／又は3次元に織る及び／又は編むことによって、安価にかつ大量に誘電率の周期構造を実現した。また、マトリックスとして強度の高い樹脂を利用することにより、さらにマトリックスを繊維によって強化することにより、高強度フォトニック結晶の製造を可能とした。

#### 【0015】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施形態を図面に示す実施態様に基づいて具体的に説明する。誘電率の低い繊維形状物質としてコットン糸（比誘電率1）を使用し、これを1次元的、2次元的、3次元的に直線状に配列、及び2次元、3次元に編織し、その隙間を誘電率の高い物質としてチタニア分散型樹脂（比誘電率10）で埋めることによって誘電率の周期構造を有するフォトニック結晶を製造した。なお、誘電率は電束密度 $D$ と電場 $E$ との関係 $D = \epsilon E$ を与える $\epsilon$ をいう。MKSA単位系では特定の次元と数値が与えられるので絶対誘電率とよび、真空の誘電率との比を比誘電率という。

【0016】フォトニックバンドギャップの形成位置を決定させるために以下の式を用いた。

$$f [\text{GHz}] = 300 / (2d\sqrt{\epsilon})$$

ここで、 $f$ はフォトニックバンドギャップを形成するときの周波数、 $d [\text{mm}]$ は結晶の周期幅である。また、 $\epsilon$ は結晶のマトリックスであるチタニア分散型樹脂の比誘電率である。ここで、チタニアとは二酸化チタンのことで、工業的にはイルメナイト鉱石から製造されている。融点は $1840^\circ\text{C}$ であり、 $3000^\circ\text{C}$ 以上で分解し着色する。絶縁体で、誘電率が高く、水に不溶である。隠蔽力の大きい白色顔料（チタンホワイト）として多量に用いられ、磁器原料、研磨材、医薬品、化粧品としての用途が多い。

【0017】上式はブラッグの反射条件式から導かれたものである。ここで結晶の周期幅を $4 \text{ mm}$ 、チタニア分散型樹脂の比誘電率を10と設定した。これより、フォトニックバンドギャップは約 $11.9 \text{ GHz}$ に形成されると予測できる。この周波数は携帯電話、気象レーダー、マイクロ波通信、電子レンジなどに利用されている電磁波の波長に近いものである。

【0018】以下の式を用いることで、結晶のマトリックスであるチタニア分散型樹脂の比誘電率を決定できる。 $\epsilon = f_1 \epsilon_1 + f_2 \epsilon_2$ 。 $\epsilon$ はチタニア分散型樹脂の比誘電率、 $f_1$ は樹脂の体積分率、 $f_2$ はチタニアの体積分率、 $\epsilon_1$ は樹脂の比誘電率、 $\epsilon_2$ はチタニアの比誘電率である。ここでいう樹脂にはポリエステル系樹脂を用いた。

【0019】チタニアの量を $1.5 \text{ vol\%}$ としたときのチタニア分散型樹脂の比誘電率の実測値と理論値を図4に示す。図に示すように実測値と理論値とは一致している。したがって上式を用いると、チタニア分散型樹脂の比誘電率を10とするためには、 $8.2 \text{ vol\%}$ のチ

タニアが必要であることがわかった。

【0020】図5にフォトニック結晶の製造に用いた金型を示す。これは2mm間隔ごとに直径1mmの穴を周期的にあけたものである。この金型の穴に比誘電率の低い直径1mmのコットン糸を通して、図6のような周期構造を実現した。ここで、コットンとは木綿のことで、  
10 荻科に属する植物から採取され、その主成分はセルロースである。引張強さ約3~5g/D、伸び率3~7%、比重1.54という性質を有する。コットン糸は誘電率の低い気体を3次元的に展開させるガイドとしての役割を担うことが可能である。

【0021】(a)は線型系直交構造であり、直線状の糸が3次元的に配列したものである。(b)は平織構造(2次元織物)を積層したものであり、ここでは多層織物とよぶ。(c)は3次元織物である。

【0022】ここに比誘電率の高いチタニア分散型樹脂を流し込んで結晶を製造した。製造した結晶の大きさは30mm×30mm×6mmである。また比較材料として同じ比誘電率をもつチタニア分散型樹脂のバルク材を製造した。ここで、バルク材とは糸を含まないチタニア  
20 分散型樹脂母相を指す。

【0023】製造したフォトニック結晶とバルク材を図7に示すネットワークアナライザーにより評価した。電磁波の測定周波数を1~20GHzのミリ波に設定し、単極アンテナを試料の両端に置くことで、電磁波の入射波に対する透過特性を測定した。

【0024】図8に、線型系直交構造とバルク材の電磁波透過特性を示す。これは結晶に対して垂直に入射波を通した結果である。バルク材がほぼ一定であるのに対して、製造した結晶は5.8~11.6GHzにかけて  
30 透過率が減衰していた。ここでは電磁波を最大で約1/100の大きさまで減少させていた。

【0025】図9に多層織物の電磁波透過特性を示す。図8と同様に6.6~15.1GHzにかけて透過率が減衰していた。

【0026】図1に3次元織物の電磁波透過特性を示す。図8及び図9と同様に、6.4~15GHzにかけて透過率が減衰していた。また理論計算により予測されたフォトニックバンドギャップの形成位置とほぼ同じ位置にこの減衰が形成されていた。したがって、これら電  
40 磁波透過率の減衰はフォトニックバンドギャップの形成に起因するものである。このように繊維形状物質を利用することにより、いままでにない新しい方法でフォトニック結晶が製造可能となった。

【0027】本実施例では、誘電率の低い繊維形状物質としてコットン糸を使用した。コットンのほか、麻糸、羊毛、絹糸などの天然繊維、レーヨンのようなセル  
50 ロース繊維、ナイロン繊維、ポリエステル繊維、PVAをはじめとする合成繊維及びそれらの混合体なども使用できる。繊維形状物質の形態としては、1次元、2次元

的、3次元の織物、編物、不織布、網状体、そのほかの繊維を配列したもの、又はそれらを併用したものを使用することができる。

【0028】また、本発明で 사용할 ことができる誘電率の高い物質としては、チタニア、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SrTiO}_3$ のような酸化チタン系セラミックス分散型樹脂のほか、アルミナ及び/又は窒化珪素及び/又はガリウム砒素などを分散した樹脂なども使用できる。

【0029】また、本発明で使用する繊維状物質及びマトリックスを構成する物質の各誘電率は、繊維状物質誘電率の低い繊維形状物質からなる配列体の隙間を該繊維形状物質に比較して高い誘電率を有する、とくに該繊維形状物質に比較して4倍以上30倍以下の誘電率を有する物質で埋めるのが、バンドギャップの発現と光(電磁波)損失との観点から好ましい。

【0030】

【発明の効果】本発明のフォトニック結晶では、低誘電率の繊維状物質を、強度をもつ繊維状物質でもって構成している。空気は低誘電率物質とする従来技術よりも、格段に強度の高いフォトニック結晶とすることができる。また、繊維形状物質としてコットン糸を使用しそれを1次元、2次元、3次元に配列し、また、チタニア、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、アルミナ、窒化珪素、ガリウム砒素などのような誘電率の高いセラミックスあるいは半導体及びそれらの混合体を混合した樹脂を使用することにより、より強度の高いフォトニック結晶が得られる。

【0031】また、誘電率の低い繊維形状物質を配列し、その隙間を誘電率の高い物質で埋めるという簡単な製造方法によるため、従来のフォトニック結晶の製造方法に比して製造が容易で、大量生産も可能で、そのうえ安価にフォトニック結晶を製造することが可能である。さらに本発明では、繊維工学の応用によって高強度のフォトニック結晶が製造でき、従来のような高価な装置やプラントを必要とせず、また、大きさの制限も存在しない。

【0032】製造したフォトニック結晶はすべて数層からなるものであったため、透過率が20dB程度の減衰であったが、さらに層数を重ねれば、電磁波をより遮断できる。また、本手法を用いればダイヤモンド構造を含む3次元周期構造を容易に実現できるため、すべての方向からの同波長の入射波に対して電磁波を遮断する、完全なフォトニックバンドギャップが形成したフォトニック結晶を提供できる。

【0033】製造したフォトニック結晶はコットン/チタニア分散型樹脂の繊維強化複合材料であるため、強度の高いフォトニック結晶を製造することが可能となった。また、素材が安価で、製造方法が容易なため、従来のフォトニック結晶よりも安価にフォトニック結晶が得られる。

【0034】本発明で製造したフォトニック結晶は、光導波管や共振器などの光素子として使用できる。また、ミリサイズの構造であることから、制御対象となる電磁波はマイクロ波になるため、たとえば、誘電率の高い繊維（たとえばチタニア入りの繊維）でダイヤモンド構造を編めば、電磁波を反射できる衣料や電磁波遮蔽体などを製造することができる。また、電磁波を操る材料として金属製のアンテナなどがあるが、本発明により、これらを軽量のプラスチック材料と繊維で代替できることになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】3次元繊維物を使用した本発明のフォトニック結晶の電磁波透過特性を示した図である。

【図2】Yablonoitchが提案したフォトニック結晶の製造方法を示す図である。

【図3】ウェーハ融着を利用したフォトニック結晶の製造方法を示す図。

【図4】本発明において、チタニアの量を1.5vol%としたときのチタニア分散型樹脂の比誘電率の実測値と理論値を示す図。

【図5】本発明で用いたフォトニック結晶の製造用金型の

の模式図。

【図6】本発明で製造した周期構造、(a)線型糸直交構造、(b)多層織物、(c)3次元織物の模式図。

【図7】ネットワークアナライザを用いた測定装置を示す図。

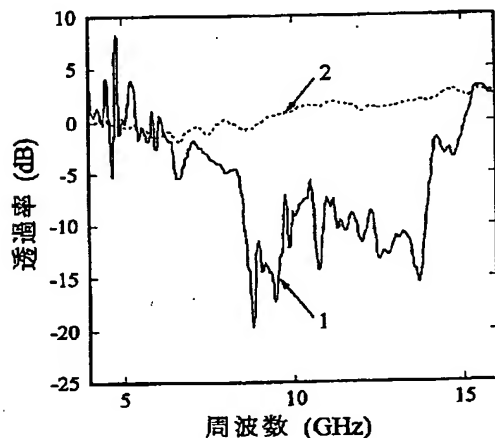
【図8】本発明において、繊維形状物質を直線型糸直交構造とした場合の、フォトニック結晶とバルク材の電磁波透過特性を示す図。

【図9】本発明において、繊維形状物質を多層織物とした場合の、フォトニック結晶とバルク材の電磁波透過特性を示す図。

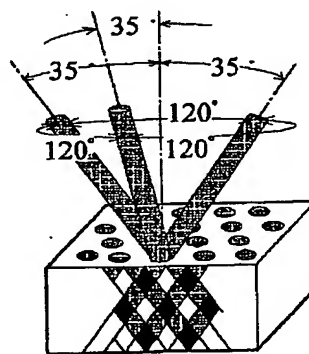
【符号の説明】

- 1、10、12…フォトニック結晶
- 2、11、13…バルク材
- 3…GaAs
- 4…AlGaAs
- 5…GaAs基板
- 6…測定値
- 7…理論値
- 20 8…チタニア分散型樹脂
- 9…単極アンテナ

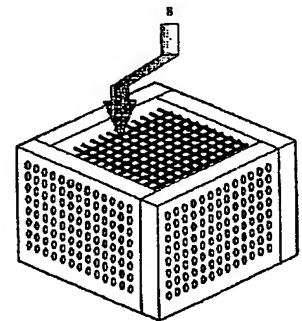
【図1】



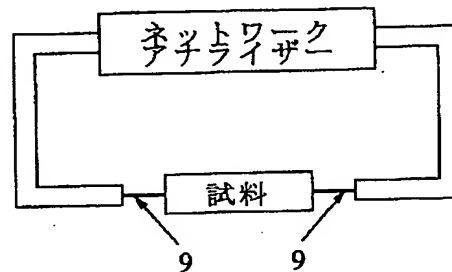
【図2】



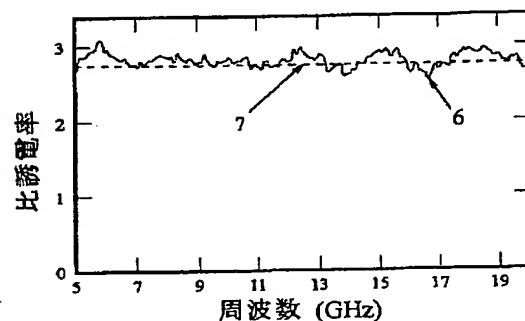
【図5】



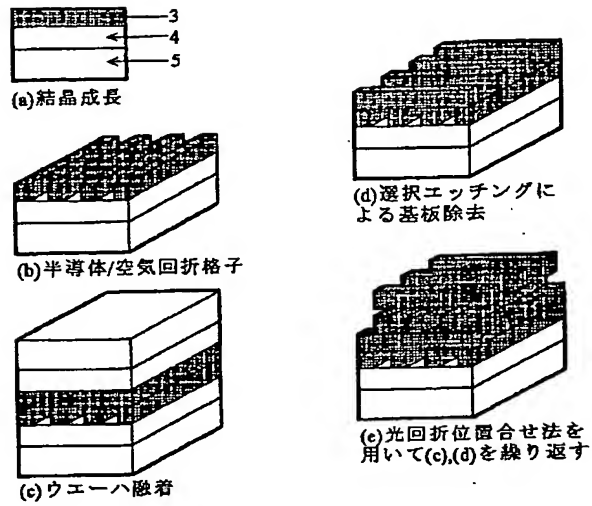
【図7】



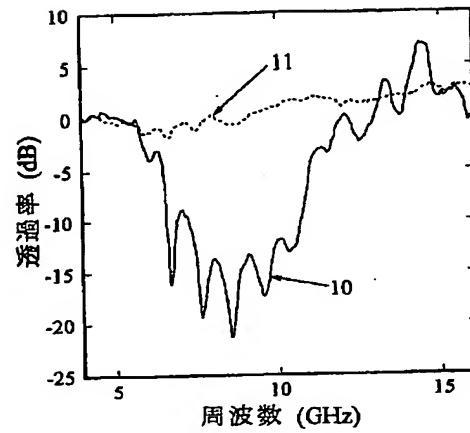
【図4】



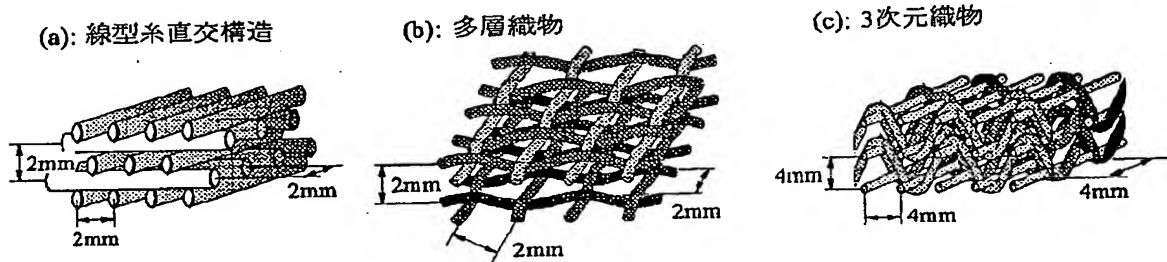
【図3】



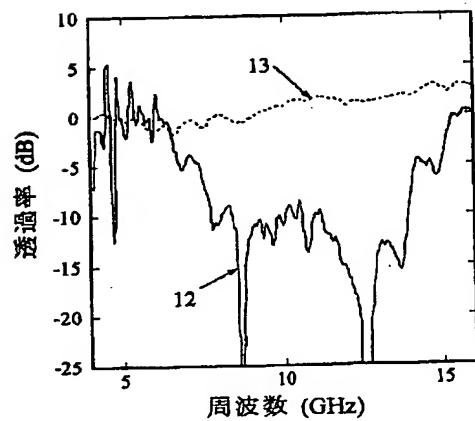
【図8】



【図6】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

テ-コ-ト (参考)

G 0 2 B 6/12

M

(72)発明者 小林 貴信

長野県上田市常田3丁目15番1号 信州大  
学繊維学部機能機械学科内

(72)発明者 宮本 欽生

大阪府池田市槻木町1丁目14番202号

(72)発明者 桐原 聡秀

大阪府箕面市栗生新家2丁目1番27号 ヴ  
ェルドミール205号室

Fターム(参考) 2H047 PA00 QA01

2H049 AA43 AA44 AA59 AA62 AA65

2H079 CA07 DA01 DA07

BEST AVAILABLE COPY